

Utiliser la modélisation pour évaluer l'impact du fonctionnement d'élevages laitiers sur l'économie et la valorisation de l'eau d'irrigation

Cas du Tadla (Maroc)

Le Gal P.-Y.¹, Moulin C.-H.², Puillet L.², Kuper M.³, Sraïri M.T.⁴

¹ Cirad, UPR Agriculteurs et Innovations, Montpellier France

² Agro-M, Montpellier France

³ Cirad, UMR G-Eau - IAV Hassan II, Rabat Maroc

⁴ IAV Hassan II, Rabat Maroc

Résumé — L'économie et la valorisation de l'eau d'irrigation dépendent des décisions prises par les agriculteurs en matière de choix d'assolement, de modes de conduite des systèmes de production et de stratégies de commercialisation. Si les gestionnaires de périmètre comme les opérateurs aval des filières influencent ces décisions, ils sont souvent démunis face à la diversité des contextes d'action des agriculteurs et à la complexité des réflexions prospectives à mener. Cet article présente une démarche conçue et expérimentée sur le bassin de collecte laitier du périmètre du Tadla au Maroc. Elle combine l'utilisation d'une typologie en 4 types basés sur les stratégies et les pratiques des éleveurs, et d'un outil de simulation confrontant offre et demande alimentaire sur chacun des types. L'utilisation de l'outil est illustrée sur l'exemple des petites exploitations laitières intensives. Différents systèmes fourragers sont comparés et leurs impacts sur la production laitière, la consommation et la valorisation de l'eau d'irrigation sont évalués. Il est ainsi montré que les systèmes combinant maïs ensilage et luzerne sont plus intéressants que les systèmes à base de luzerne sur tous ces plans. Les limites de la démarche touchent à la base de données nécessaire pour valider la typologie sur l'ensemble de la population des éleveurs et pour paramétrer le modèle, aux simplifications apportées à la représentation des processus de gestion et à l'ergonomie de l'application.

Agriculteurs et gestionnaires de périmètres irrigués sont confrontés à une pression croissante sur la ressource en eau. Cette situation générale les conduit à privilégier deux objectifs complémentaires : d'une part, économiser l'eau en mettant l'accent sur des productions moins consommatrices ou en rationnant l'offre, d'autre part, mieux valoriser les quantités utilisées. Ce dernier point a débouché sur le concept de *water productivity* (Kijne *et al.*, 2003), vu comme le bénéfice tiré de l'usage de l'eau, ici agricole (Molden *et al.*, 2003), ou comme la quantité d'output obtenu à partir d'un m³ consommé ou distribué (Barker *et al.*, 2003). Pour être complète cette deuxième définition doit intégrer la façon dont les outputs physiques (matières premières agricoles) sont valorisés économiquement au sein des filières qui les transforment jusqu'aux consommateurs finaux (Kuper *et al.*, 2005).

Dans tous les cas ces deux indicateurs renvoient à des décisions prises par les agriculteurs au sein de leur exploitation, en interaction avec leur environnement institutionnel et économique : choix d'assolement déterminant les productions en place, mode de conduite conditionnant des rendements en interaction avec les conditions de milieu, modes de commercialisation des productions vers des opérateurs aval. Mais la diversité des producteurs et des filières sur un même périmètre fait qu'il est difficile à la fois d'évaluer et d'agir *in situ* sur ces deux composantes hydrauliques et économiques, aux niveaux collectifs et individuels.

L'hypothèse faite dans ce travail est que la modélisation et la simulation peuvent aider les acteurs, tant gestionnaires qu'agriculteurs ou conseillers agricoles, à mieux appréhender cette diversité et à concevoir de nouvelles stratégies de gestion associant économie et valorisation de l'eau. La démarche suivie consiste à combiner deux types de modélisation : la première, relativement classique, consiste à représenter la diversité des exploitations à travers des typologies basées sur leurs stratégies et l'analyse de leurs pratiques (Landais et Deffontaines, 1988 ; Perrot, 1990). La seconde est basée sur la conception d'un outil simulant les relations entre offre et demande alimentaire à l'échelle d'une exploitation d'élevage.

Cette démarche a été conçue et testée sur le bassin de collecte laitier du Tadla au Maroc. Après avoir présenté le contexte et la problématique propre à ce cas d'étude, nous passons successivement en revue la typologie proposée, l'outil de simulation et son utilisation avec l'un des types. Les limites de la démarche et ses perspectives en matière de conseil technique à l'échelle des exploitations ou de stratégies collectives à l'échelle du bassin de collecte et du périmètre sont discutées en fin d'article.

Le bassin d'approvisionnement laitier du Tadla : contexte et problématique

Le périmètre du Tadla, situé à 200 km au sud-est de Casablanca, couvre une superficie de 100 000 ha gérés par l'Office régional de mise en valeur du Tadla (Ormvat). Ce périmètre est alimenté par des ressources en eau de surface, mais les prélèvements en nappe ont connu un développement individuel massif depuis les années 1980 suite à des épisodes de sécheresse répétés (Préfol, 1986 ; Zaz, 1996). Si les techniques d'irrigation restent essentiellement gravitaires, au moins sur les exploitations familiales dont la taille varie entre 1 et 20 hectares, l'utilisation conjuguée des eaux de surface et des eaux souterraines s'est progressivement généralisée sur le périmètre pour combler les déficits de l'offre de l'Ormvat face à un accroissement de la demande en eau (Zemzam, 2003 ; Kuper *et al.*, 2004).

La libéralisation des assolements à partir de 1996 s'est traduite par un accroissement de la gamme des productions pratiquées sur le périmètre (Figure 1). Les cultures fourragères, essentiellement de la luzerne complétée récemment par du bersim et du maïs ensilage (3 000 ha en 2005), occupent une place croissante avec l'implantation locale d'une laiterie industrielle ; 17 000 exploitations se sont ainsi orientées vers une production mixte lait-viande basée sur un troupeau de 55 000 vaches laitières ; 65 % des 175 millions de litres de lait produits sont livrés à la laiterie. La productivité moyenne par vache est relativement faible (3 000 l par an) si l'on considère que 28 % des animaux sont de race pure (Prim'Holstein et Montbéliarde) et 60 % de type croisé (source Ormvat).

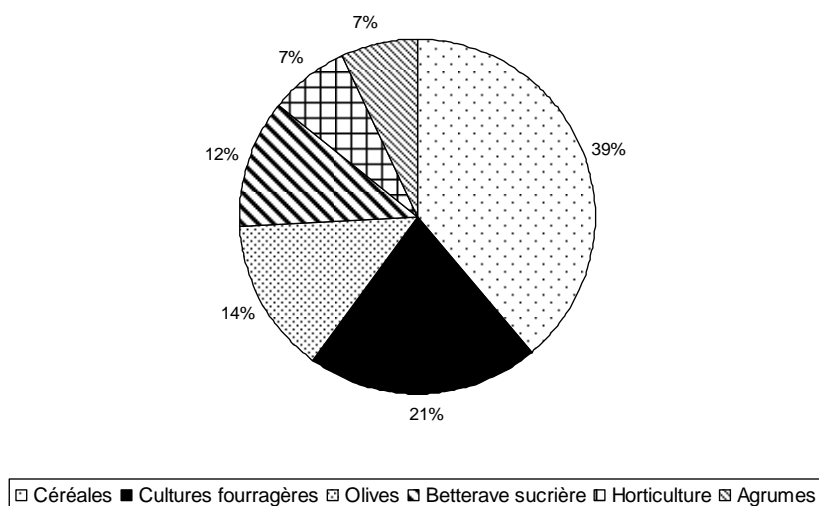


Figure 1. L'assolement dans le périmètre du Tadla (en % de la surface totale).
(Source : Ormvat).

Face à la multiplicité des éleveurs individuels, l'industriel a suscité la mise en place de coopératives de collecte, au nombre de 82 sur le périmètre. Ces coopératives possèdent un à plusieurs centres de collecte

où les éleveurs livrent leur lait. Elles sont chargées de redistribuer les montants versés par l'industriel sur la base des volumes livrés et d'un prix de base « haute lactation » de 2,76 Dh/l sur lequel elles prélèvent 15 à 25 centimes au litre pour couvrir leurs frais. Un prix supérieur est appliqué en période de basse lactation (3,14 Dh/l), pour inciter les éleveurs à lisser leurs courbes de livraison durant l'année (Le Gal, 2004).

Les différents acteurs du bassin de collecte (industriel, producteurs, Ormvat) considèrent que l'amélioration de ces performances passe par les trois points suivants (Sraïri *et al.*, 2005) : (i) l'augmentation du volume total de lait produit par l'amélioration de la productivité par vache, qui reste encore faible vu le potentiel génétique exploité ; (ii) la réduction de la saisonnalité, que l'industriel souhaiterait voir passer de 1,9 à 1,6 ; (iii) l'amélioration de la qualité du lait livré, surtout au plan hygiénique car elle est déjà d'un niveau chimique acceptable sur le Tadla.

Ces trois questions renvoient à un ensemble d'actions aux différents niveaux de la chaîne logistique, dont les exploitations d'élevage. La conduite des systèmes fourragers et leur transformation en lait et viande sont en effet à la base de la valeur créée. La valorisation de l'eau utilisée pour irriguer les cultures fourragères est donc elle-même déterminée par ces modes de conduite.

Or l'industriel connaît mal ces producteurs individuels, dans la mesure où il ne traite qu'avec les coopératives de collecte. L'estimation de leurs marges de manœuvre face aux objectifs affichés passe donc par une meilleure compréhension de la diversité des exploitations d'élevage. Cette compréhension permet de décrire la situation présente, mais ne fournit pas les outils pour une réflexion prospective. Cette deuxième étape suppose de concevoir et mettre en œuvre des outils de simulation *ad hoc*. Cette démarche, combinant analyse descriptive, typologie d'exploitations et modèle de simulation, a été mise en œuvre à partir d'une enquête de terrain réalisée en 2004 et 2005.

La démarche de modélisation et ses résultats

Typologie des exploitations laitières

La diversité des exploitations laitières a été analysée à partir d'un échantillon de 32 cas couvrant une large gamme de situations. La typologie construite sur cette base privilégie une approche par les stratégies et les systèmes de décision des éleveurs relatifs à l'organisation de la production bovine sur l'exploitation. Cette approche permet de saisir la cohérence entre les choix stratégiques de l'éleveur et ses pratiques en matière de gestion de ses surfaces fourragères et de ses animaux (Girard et Hubert, 1999). Cette cohérence est importante à identifier pour raisonner des leviers d'amélioration de la production qui soient compatibles avec les objectifs et les projets des éleveurs.

Pour identifier les principales stratégies de production laitière, une analyse fine de l'ensemble des pratiques d'élevage à l'échelle d'un cycle annuel a été réalisée à travers plusieurs passages sur un sous-échantillon de 12 cas (voir Kuper *et al.*, 2006 pour plus de détails sur la méthodologie employée). L'analyse d'un petit nombre d'études de cas bien documentées se révèle en effet très riche d'informations, et complémentaire des approches sur de plus grands échantillons (Girard *et al.*, 2001 ; Pluvinage et Moulin, 2004).

L'analyse des stratégies observées dans les exploitations enquêtées a permis de définir quatre pôles stratégiques en matière d'élevage bovin (Tableau 1). Toutes les exploitations adoptent une orientation d'élevage bovin mixte lait-viande. Elles consacrent une partie du lait à l'allaitement des veaux mâles et femelles, tous élevés sur les exploitations. Les animaux qui ne sont pas gardés pour le renouvellement des reproducteurs sont ensuite engraisés pour être vendus entre 12 et 24 mois d'âge. Ce choix permet de réduire les risques liés à une spécialisation trop poussée et confère à chaque production un rôle spécifique dans l'exploitation : lait pour la trésorerie, viande pour la couverture de dépenses ponctuelles élevées.

Le pôle 1 regroupe des étables laitières ayant massivement investi dans le cheptel (au moins 20 vaches), dans les bâtiments et équipements (traite mécanique), ainsi que dans le foncier. L'étable est tenue par des ouvriers salariés. Etant donné les volumes produits, le lait est directement livré à l'industriel. Le système fourrager est fondé sur le maïs et la luzerne, en succession de culture avec des céréales à paille et de la betterave sucrière. Les surfaces fourragères ne sont pas limitantes par rapport au cheptel présent. L'alimentation des vaches en lactation repose sur le maïs ensilage et la luzerne distribuée en vert, avec utilisation de tourteau pour assurer l'équilibre protéique de la ration de fourrage.

Tableau 1. Présentation de la typologie des exploitations laitières sur le périmètre irrigué du Tadla.

<p>Pôle 1 : Investissement de capitaux dans une étable laitière (3 exploitations)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Troupeau de 20 VL ou plus • Système fourrager diversifié et non limité par la surface disponible • Livraison directe à l'usine • Employés salariés • 3000 à 5000 l/VL/an 	<p>Pôle 3 : Elevage bovin en développement dans une exploitation diversifiée (4)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 à 20 ha de surface disponible • 3 à 6 ha de surface fourragère • Investissements dans des bâtiments et des équipements de traite • 8 VL et projet d'augmentation • 2500 à 3000 l/VL/an
<p>Pôle 2 : Elevage bovin valorisant un foncier limité (3)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surface disponible de 2 ha entièrement en cultures fourragères • Investissement dans des bâtiments et des équipements de traite • 5 à 10 VL • 2500 à 5000 l/VL/an 	<p>Pôle 4 : Elevage bovin au service d'un système de polyculture (1)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 7 ha de surface disponible, dont 15 % en cultures fourragères • Race locale adaptée aux restrictions alimentaires • Recyclage des sous-produits végétaux • Le lait assure la trésorerie • 1500 à 2000 l/VL/an

Le cheptel est de génotype frison ou Holstein, en race pure, avec un potentiel laitier important. Cependant, les résultats techniques ne sont pas toujours en rapport avec les moyens de production mis en œuvre, la moyenne économique d'étable variant de 3 000 à 6 000 litres de lait livrés par vache présente et par an. La faible productivité par vache observée dans certains cas s'expliquerait par un manque de maîtrise technique dans la conduite d'un système laitier intensif, liée aux difficultés de gestion avec des salariés.

Les trois pôles suivants correspondent à des exploitations de taille inférieure, dont le travail est assuré par la main-d'œuvre familiale, même s'il peut être fait appel dans certains cas à l'embauche de salariés temporaires. Le lait destiné à la filière industrielle est livré à une coopérative de collecte.

Le pôle 2 regroupe des exploitations de petite taille spécialisées dans la production bovine (lait et viande). Les assolements sont essentiellement fourragers, avec surtout de la luzerne. L'alimentation des vaches laitières repose sur la distribution de luzerne en vert pendant 7 à 8 mois de l'année. Le bersim et un mélange paille/son de blé - pulpe sèche de betterave prennent le relais les mois où les luzernières ne produisent plus suffisamment. Le cheptel est de 5 à 10 vaches et leur suite, ce qui donne des chargements très élevés (4 UGB par hectare). Les animaux sont de race pure Holstein (importation de génisses pleines et leurs descendants) ou le plus souvent croisés. Des investissements ont été réalisés, dans des bâtiments, plus ou moins sommaires, et éventuellement dans la traite mécanique. Une partie des fourrages produits sur l'exploitation est valorisée par la production de viande, soit indirectement, via le lait utilisé pour alimenter les veaux pendant le début de la phase d'élevage, soit directement pour l'alimentation des jeunes en croissance et pour la phase d'engraissement (taurillons vendus entre 12 et 24 mois d'âge).

Les exploitations du pôle 3 sont de plus grande taille (10 à 20 ha de SAU), avec des productions végétales diversifiées (céréales, betteraves sucrières, vergers). Les fourrages occupent de 3 à 6 ha dans l'assolement, pour alimenter un troupeau bovin de taille moyenne (8 vaches) mais en augmentation. Les éleveurs ont en effet des projets à court terme d'acquisition de nouvelles génisses Holstein importées. Le développement de l'atelier bovin doit amener la production laitière à dégager un revenu au même titre que les productions végétales. Les résultats techniques restent cependant limités, avec une productivité de 2 500 à 3 000 litres par vache.

Les exploitations du pôle 4 présentent une structure foncière équivalente au pôle 3, permettant une diversification des productions végétales, notamment vers le maraîchage. Mais la place tenue par l'atelier bovin est très différente. La vente de lait et d'animaux permet d'assurer la trésorerie pour payer les intrants pour les cultures. La part des fourrages dans l'assolement est faible, de l'ordre de 15 %, soit 1 ha. L'alimentation du troupeau repose sur la valorisation des sous-produits des autres cultures, distribués à l'auge (paille, collets et feuille de betteraves...) ou pâturés. Les vaches sont de races locales ou croisées,

adaptées aux restrictions alimentaires engendrées par des disponibilités irrégulières au cours de l'année. La productivité par vache est plus faible que dans les pôles précédents, 1 500 à 2 000 litres, mais en adéquation avec le type génétique choisi et le peu d'intrants utilisés.

La contribution potentielle de chaque type aux objectifs du bassin de collecte est variable. Les exploitations du pôle 1 peuvent augmenter leurs volumes en maîtrisant mieux la conduite technique des systèmes d'élevage, mais elles pèsent peu dans l'ensemble de la production. Les éleveurs du pôle 2 ont peu de marge de manœuvre en dehors d'une optimisation de leurs systèmes fourragers, passant par une plus grande diversification et un meilleur calage de l'offre alimentaire par rapport à la demande des animaux. A contrario ceux du pôle 3 peuvent augmenter leur production de lait livré à la filière industrielle en augmentant leur cheptel et la part des surfaces fourragères. Les exploitations du pôle 4 seront par contre peu réactives aux objectifs d'amélioration de la filière, vue la place que tient l'élevage dans leur système de production.

Dans tous les cas l'évaluation de ces contributions potentielles et de leurs effets sur le fonctionnement des élevages passe par une phase de modélisation et de simulation de l'organisation des relations entre offre et demande alimentaires, autour de scénarios alternatifs susceptibles d'améliorer la performance des élevages et la valorisation de l'eau d'irrigation. Ce travail de modélisation a été conduit à partir d'une réflexion conceptuelle sur les relations entre système d'alimentation et système d'élevage dans ces exploitations.

Représentation conceptuelle des relations entre système alimentaire et système d'élevage

De nombreux modèles et outils de simulation existent pour représenter le fonctionnement des exploitations d'élevage et évaluer leurs performances. Les plus courants consistent à concevoir des rations alimentaires optimales en fonction d'objectifs de production définis (exemple du logiciel INRAtion, développé à partir des recommandations alimentaires de l'INRA en France, Jarrige, 1988). Certains outils à visée de conseil très opérationnel limitent leur représentation des exploitations à quelques variables clés déterminant, par régression linéaire, la productivité des animaux (Kerr *et al.*, 1999). D'autres se concentrent sur une composante seulement du système de production, telle que la gestion des surfaces fourragères (Coleno *et al.*, 2002 ; Cros *et al.*, 2004). Ils en donnent une vision plus proche du réel à travers la modélisation de corps de règles de gestion couplée à des modélisations biophysiques de la dynamique des ressources fourragères.

Le modèle conceptuel développé ici vise à prendre en compte les relations entre la demande alimentaire du troupeau et l'offre gérée par l'éleveur, afin de calculer les effets des choix réalisés en matière de conduite des animaux et du système alimentaire sur les performances techniques et économiques d'une exploitation présentant une configuration structurelle donnée. Le principe de base consiste à confronter mensuellement une offre en fourrage et compléments avec une demande alimentaire, d'en déduire une ration par type d'animaux, puis des performances zootechniques et économiques, une fois les coûts et les produits calculés. La valorisation de l'eau offerte par un système donné est calculée en divisant la marge produite par les activités d'élevage avec les consommations en eau correspondantes du système fourrager. Le modèle est construit autour de 3 modules de base (Figure 2).

Module « Paramètres zootechniques »

Ce module permet de caractériser le troupeau et son mode de conduite. La taille du troupeau est saisie. Un potentiel laitier estimé est défini et une courbe de lactation est reconstituée en fonction de la valeur et du positionnement du pic de lactation et de l'intervalle entre vêlages. Sur les troupeaux de taille réduite, chaque vache est caractérisée par le positionnement de sa courbe de lactation en fonction de sa date de vêlage. Ces différents paramètres permettent de calculer la production potentielle de lait espérée mensuellement et sur l'année.

Module « Demande alimentaire mensuelle »

Le troupeau est segmenté en lots en fonction de l'âge et de l'état physiologique des individus : vaches traites en haute et basse lactation, vache tarie et veaux. Les effectifs de chaque lot sont calculés mensuellement en fonction des paramètres zootechniques. Ce calcul permet d'estimer la quantité de viande produite sur l'année, en fonction du nombre de veaux produits et de leur durée d'engraissement. La demande alimentaire du troupeau est ensuite calculée en utilisant des normes de couverture des besoins d'entretien et de production (UFL, PDI, Ca, P et capacité d'ingestion) appliquées à chaque lot.

Module « Offre alimentaire mensuelle »

Ce module permet d'estimer l'offre alimentaire en prenant en compte, d'une part, les ressources fourragères de l'exploitation (assolement fourrager et rendements par culture), d'autre part, les apports de concentrés achetés à l'extérieur (son, pulpes sèches de betterave, mélasse, paille). Ces achats extérieurs peuvent également concerner des fourrages (foin de luzerne ou balle de maïs ensilage par exemple). Ils constituent la variable d'ajustement du modèle, dans le calcul de couverture de la demande alimentaire par l'offre.

Comparaison entre offre et demande alimentaires

Des règles de rationnement des animaux sont définies par lot. Elles mobilisent les fourrages produits sur l'exploitation et des aliments achetés à l'extérieur de l'exploitation. Ces règles sont appliquées mensuellement à la demande des animaux calculée dans le module précédent. On en déduit une offre alimentaire mensuelle à fournir, qui doit être couverte par l'offre réelle déterminée dans le module précédent. De cette confrontation entre offre réelle et demande potentielle sont déduites deux variables : (i) le type et les quantités d'achats alimentaires à effectuer par l'exploitation pour satisfaire les rations proposées ; (ii) les quantités de lait produites avec les règles de rationnement mobilisées.

Ces deux variables fournissent la base du diagnostic porté sur l'efficacité du système d'élevage : les rations proposées aux animaux permettent-elles d'atteindre le potentiel espéré ? A quel prix de revient du lait produit, sachant que tous les coûts de production sont estimés ? Elles permettent également d'engager un travail prospectif de réflexion : quelles seraient les rations qui permettraient d'atteindre le potentiel, voire un potentiel plus élevé tout en restant compatible avec le matériel génétique ? A quel coût et pour quel prix de revient du lait ? Elles permettent enfin d'évaluer les excédents de fourrage susceptibles d'être vendus à l'extérieur de l'exploitation. Le revenu tiré de l'activité d'élevage sur l'exploitation peut alors être calculé en sommant les ventes de lait, de viande et de fourrages, diminuées des coûts directs et indirects liés à cette activité. La valorisation de l'eau est estimée en divisant ce revenu par les consommations des différentes cultures fourragères.

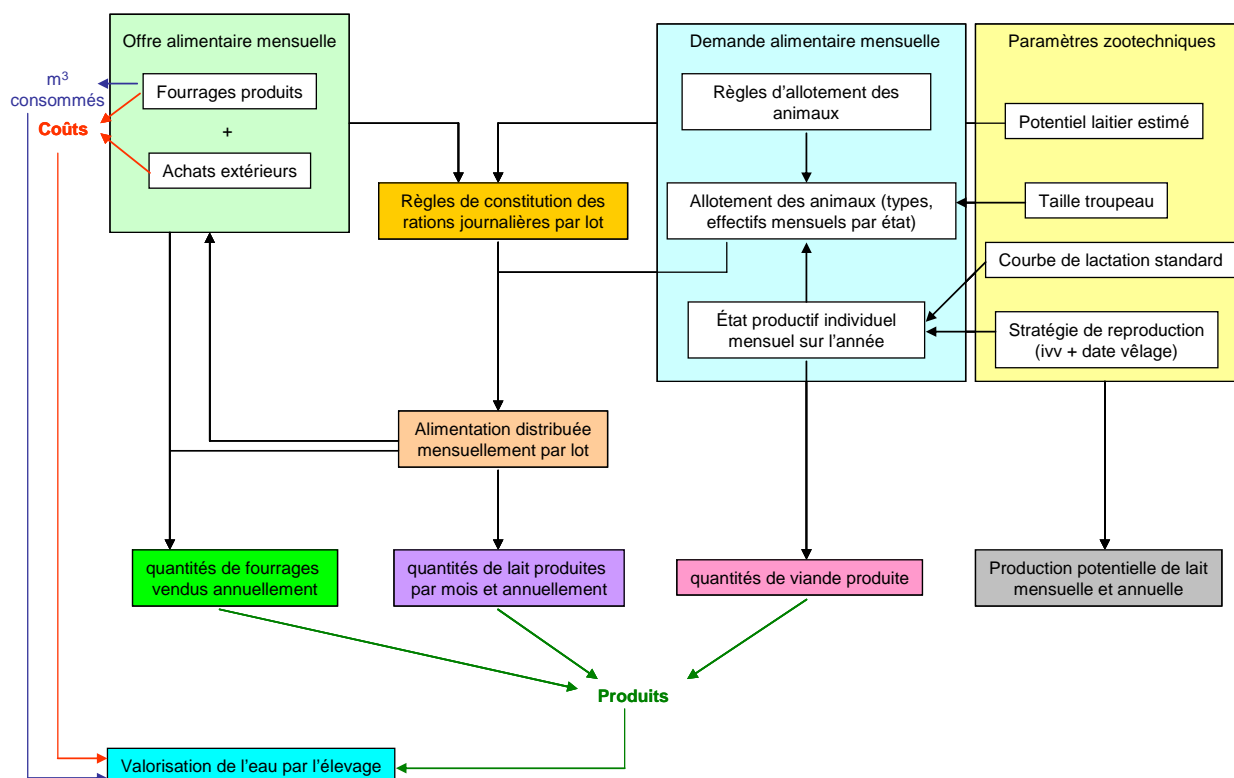


Figure 2. Modèle conceptuel de fonctionnement des exploitations laitières.

Application au pôle 2

Le modèle conceptuel ci-dessus a été appliqué aux 4 types identifiés sur le Tadla, en l'adaptant aux spécificités de chacun. Seul le modèle correspondant au pôle 2 sera présenté ici, à partir du cas type suivant :

2 ha Outils manuels MO familiale ou saisonnière	<table><tr><td>Luzerne</td><td>1,6 ha</td></tr><tr><td>Bersim/Maïs fourrager</td><td>0,4 ha</td></tr></table>	Luzerne	1,6 ha	Bersim/Maïs fourrager	0,4 ha	5 vaches laitières type race pure Livraison à une coopérative Vache à 4500 kg / lactation IVV : 14 mois avec 2 mois de tarissement
Luzerne	1,6 ha					
Bersim/Maïs fourrager	0,4 ha					

Dans ce cas, les rations sont dépendantes des productions fourragères. Il a donc été nécessaire de représenter le système de décision de l'éleveur dans l'affouragement des vaches laitières (

Figure 3). Un seuil de quantité journalière de fourrage vert est déterminé en rapport avec le potentiel de production fourragère et les besoins du troupeau. Il reflète l'objectif d'affouragement de l'exploitant. Si ce seuil peut être atteint par la production des surfaces fourragères, cette quantité constitue le distribué. Si la production est en dessous, les rations sont complétées avec une quantité fixe de fourrages secs (paille et foin). Les vaches traitées reçoivent un ou deux concentrés, quel que soit le résultat sur la distribution de vert.

Distribution de fourrage sec	
•	SI <i>production fourrage vert</i> / VL >= ' Objectif vert ' ALORS <i>Q sec</i> = 'aucun'
•	SI <i>production fourrage vert</i> / VL < ' Objectif vert ' ALORS <i>Q sec</i> = 'ration fixe'
Composition de la ration de fourrage vert (luzerne ou bersim)	
•	SI <i>production luzerne</i> > ' Objectif vert ' ET <i>production bersim</i> > ' Objectif vert ' ALORS <i>Q luzerne</i> = ' Objectif vert ' / 2 ; <i>Q bersim</i> = ' Objectif vert ' / 2
•	SI <i>production fourrage vert</i> / VL >= ' Objectif vert ' ET <i>production luzerne</i> > <i>production bersim</i> A <i>Q bersim</i> = ' <i>production bersim</i> ' ; <i>Q luzerne</i> = ' Objectif vert ' - ' <i>production bersim</i> '
•	SI <i>production fourrage vert</i> / VL >= ' Objectif vert ' ET <i>production luzerne</i> < <i>production bersim</i> ALORS <i>Q luzerne</i> = ' <i>production luzerne</i> ' ; <i>Q bersim</i> = ' Objectif vert ' - ' <i>production luzerne</i> '
•	SI <i>production fourrage vert</i> / VL < ' Objectif vert ' ALORS <i>Q luzerne</i> = ' <i>production luzerne</i> ' ; <i>Q bersim</i> = ' <i>production bersim</i> '
Distribution de concentrés	
•	SI <i>stade de lactation</i> = 'début' ALORS <i>Q concentré</i> = 'haut'
•	SI <i>stade de lactation</i> = 'fin' ALORS <i>Q concentré</i> = 'bas'
<i>Q : quantité distribuée d'un aliment</i>	

Figure 3. Règles de constitution des rations des vaches en lactation (exemple modèle 2).

Certaines simplifications ont été adoptées pour construire un modèle complet. Les critères de décision (stade de lactation pour la distribution de concentré) ainsi que la valeur des seuils ont été identifiés au cours des enquêtes. En revanche, certaines modalités (ration fixe par exemple pour la distribution de sec) sont très simplificatrices, mais le niveau retenu correspond aux quantités recueillies par enquête et vérifiées par des calculs de cohérence entre les quantités journalières distribuées et les consommations annuelles déduites de la production, des achats et des ventes. Les valeurs spécifiques utilisées pour le modèle 2 sont récapitulées dans le tableau II.

Dans ce modèle, la dynamique de lactation de chaque vache du troupeau est traitée individuellement (intervalle entre deux vêlages et date de vêlage) sur la base de la courbe de lactation standard. Cette méthode, nécessaire sur des troupeaux de taille aussi réduite, permet de simuler la courbe de livraison du lait et de production des veaux, avec leurs conséquences sur le revenu et la trésorerie de l'exploitation (prix du lait basse et hors saison, nombre de veaux vendus chaque année, sachant que l'intervalle entre deux vêlages est de l'ordre de 14 mois).

Tableau II. Récapitulatif des différentes règles de rationnement pour le modèle 2.

Composante du système d'alimentation	Règles
Objectif vert	50 kg / VL
Nature des fourrages verts ou ensilés	Luzerne Bersim Maïs en vert
Distribution de sec	'Ration fixe' = 2 kg de paille 4 kg de foin
Distribution de concentré	'Haut' = 6 kg son de blé 'Bas' = 3 kg son de blé

Données en kg de produit brut / vache traite/ jour
PSB : pulpe sèche de betterave

Exemples de simulations sur le modèle 2

Le modèle permet d'évaluer et comparer des scénarios de modifications de la conduite des ateliers laitiers. L'exemple développé ici analyse les conséquences sur l'économie et la valorisation de l'eau de l'introduction d'une sole de maïs ensilage pour une exploitation du pôle 2. Deux types de rations sont mis en comparaison (tableau III), qui assurent le même niveau de production laitière que les rations à base de fourrages verts utilisées dans le modèle 2, sachant que la demande alimentaire du troupeau est inchangée (même potentiel individuel de production des vaches, même répartition des vêlages).

Tableau III. Comparaison des deux rations pour les vaches en début de lactation, selon le système fourrager (modèle 2).

	Luzerne	Maïs-ensilage + Luzerne
Composition de la ration (kg MS)		
Luzerne	10,0	4,0
Maïs-ensilage	0,0	7,0
Son de blé	5,5	4,6
Quantité de lait permise (l/j)		
Par l'énergie (UF)	19,0	19,6
Par l'azote (PDIN)	33,6	26,8
Par l'azote (PDIE)	29,3	22,9

Les rations à base de luzerne sont très excédentaires en azote. L'introduction du maïs ensilage (aliment à forte densité énergétique mais pauvre en azote) permet de limiter les excès d'azote dans la ration. La luzerne évite quant à elle la distribution d'un concentré protéique, comme le tourteau de soja, classiquement utilisé dans les rations où le maïs est utilisé seul comme fourrage. La distribution de son de blé peut ainsi être diminuée. Les deux rations permettent finalement à une vache de 600 kg de produire 19 l de lait par jour.

Dans le scénario avec ensilage, les règles de constitution des rations sont donc modifiées : les vaches en production reçoivent 7 kg de MS de maïs ensilage par jour, complétés de 20 kg de vert (luzerne ou bersim) au maximum. Connaissant la demande du troupeau et avec une hypothèse de rendement de 10,5 tMS/ha, la sole de maïs peut être calculée (tableau IV).

Tableau IV : Comparaison de l'économie de l'eau pour les deux systèmes fourragers.

	Base du système fourrager			
	Luzerne		Maïs-ensilage + Luzerne	
Assolement (ha)				
Luzerne	1,6		1,0	
Bersim	0,4		1,0	
Maïs (dérobé)	0,4		1,0	
Productions fourragères	<i>t MS</i>	<i>1000 UF</i>	<i>t MS</i>	<i>1000 UF</i>
Luzerne	17,6	14,0	11	8,8
Bersim	4,2	2,1	10,4	5,2
Maïs (dérobé)	2,4	1,4	10,5	8,9
Total	24,2	17,5	31,9	22,9
Eau d'irrigation (m ³) ¹	<i>Souterraine</i>	<i>Surface</i>	<i>Souterraine</i>	<i>Surface</i>
Luzerne	5 760	17 280	3 600	10 800
Bersim	1 440	-	3 600	-
Maïs	1 800	-	4 500	-
Sous-total	9 000	17 280	11 700	10 800
Total	26 280		22 500	
Economie de l'eau				
Consommation (1000 m ³ /ha)	13,1		11,2	
kg MS / m ³ d'eau	0,921 (100)		1,418 (154)	
UF / m ³ d'eau	0,666 (100)		1,018 (153)	

¹Les consommations à l'hectare utilisées sont les suivantes :

- . bersim : 3000 m³ (4 irrigations) . luzerne 15 000 m³ (16 irrigations) ;
- . maïs d'été : 4500 m³ (5 irrigations) . maïs de printemps : 3000 m³ (4 irrigations) ;
- (non inclus dans les deux scénarios).

Le système fourrager avec ensilage permet d'économiser environ 4 000 m³ d'eau par an sur une exploitation de ce type, mais avec une plus grande proportion d'eau prélevée par pompage dans les nappes (48 % contre 34 %), l'eau de surface n'étant qu'allouée à la luzerne (tableau IV). La production fourragère par ha étant plus importante, grâce à la plus grande surface de maïs cultivé en dérobé, la productivité physique de l'eau est fortement améliorée : le système fourrager avec ensilage utilise mieux les volumes d'eau apportés (+ 54 % de MS produite par m³ d'eau utilisée dans le système avec ensilage et + 53 % d'UF).

Sur le plan économique, le système fourrager avec ensilage permet de réduire les charges d'alimentation de 12 % grâce à une production fourragère plus importante (tableau V). Avec l'ensilage de maïs, l'exploitation couvre ses besoins en fourrages, avec même un léger excédent commercialisé de foin de luzerne, sauf pour la paille destinée à alimenter les vaches taries. En revanche, dans le système luzerne, l'alimentation des jeunes nécessite des achats de foin.

Tableau V. Comparaison de la valorisation de l'eau pour les deux systèmes fourragers.

	Base du système fourrager	
	Luzerne	Maïs-ensilage + Luzerne
Produit brut (dh)		
Lait	48 808	49 854
Viande	35 000	35 000
Foin de luzerne	0	1 311
Total	83 808	86 165
Consommations intermédiaires (dh)		
Production de fourrages	10 339	12 421
Achat de fourrages	7 948	1 900
Achat de concentrés	34 590	32 220
Frais vétérinaires	1 500	1 500
Total	54 377	48 041
Valeur ajoutée brute (PB – CI) (dh)	29 431	38 124
VAB / m ³ d'eau	1,12	1,69

La réduction des coûts est aussi permise par la baisse de la consommation de concentrés. La diminution des achats d'aliments (- 6 336 dh) compense largement l'augmentation des coûts de production des fourrages dans le système avec ensilage (+ 2 082 dh). La valeur ajoutée par hectare est ainsi fortement augmentée (+ 29 %) pour le système fourrager avec de l'ensilage. La valorisation économique du m³ d'eau d'irrigation est ainsi fortement améliorée (1,69 dh / m³ contre 1,12 ; + 51 %), grâce à la meilleure productivité de l'eau et à la réduction des charges d'alimentation, tout en produisant la même quantité de lait. Ces résultats viennent confirmer, tout en les affinant, l'hypothèse faite par les acteurs de la filière sur l'intérêt du maïs ensilage dès lors qu'il est combiné avec de la luzerne.

Discussion et perspectives

La démarche présentée ici permet à la fois de décrire la diversité des éleveurs tout en facilitant la réflexion prospective sur chaque type observé, par rapport à des questions variées : économie et valorisation de l'eau d'irrigation, marges de manœuvre en matière de conduite des systèmes d'alimentation et d'élevage, impact sur la productivité des animaux et le revenu de l'exploitation.

La composante « typologie » souffre de la faiblesse de l'échantillon enquêté, avec deux conséquences majeures : (i) certains types n'ont pu être identifiés et (ii) le poids des types dans la population totale des éleveurs est inconnu. Pour lever ces manques, il est proposé de conduire une enquête complémentaire, exhaustive et rapide car basé sur quelques variables apparues comme discriminantes (SAU, surface fourragère, taille du troupeau, race des vaches, production de lait livré, mode de livraison à la laiterie). Cette enquête permettra, *via* l'utilisation d'une clé typologique (Kuper *et al.*, 2006) de rattacher chaque exploitation à un type, d'évaluer le nombre de cas non classés et de créer d'éventuels nouveaux types dont il conviendra de comprendre la stratégie.

L'outil de simulation se concentre sur l'interface entre l'alimentation des vaches traites et les surfaces fourragères. Il présente plusieurs limites concernant la représentation des décisions de l'éleveur. La gestion des stocks de paille ou de foin n'a pas été représentée, conduisant à des quantités de fourrages secs distribués fixes. Il serait intéressant d'approfondir ces pratiques de distribution de fourrages secs pendant la difficile période d'arrêt de production des luzernières. Quelles stratégies l'éleveur met-il en place afin de passer cette soudure ?

Les règles de composition de la ration en fourrages verts sont également très simplifiées. Il serait utile de mieux comprendre la manière dont l'éleveur gère ses différentes parcelles de fourrages, combine les différentes espèces fourragères et répartit ses fourrages verts dans le temps. La production de fourrages pourrait également être mieux représentée afin de mieux saisir les interactions entre des choix

d'alimentation, et donc d'utilisation des fourrages produits, et la production des fourrages, la luzerne pouvant être très sensible aux modes d'exploitation en termes de rendement mais également de pérennité.

Cette meilleure compréhension des modes de conduite de la sole fourragère devra inclure une analyse plus fine des pratiques d'irrigation et des consommations en eau qui en découlent. Les valeurs utilisées dans les simulations présentées ici sont en effet encore floues, de même que les liens entre pratiques d'irrigation et productivité des cultures fourragères.

De même il paraît nécessaire d'affiner la compréhension et la représentation des pratiques d'élevage. Ainsi le modèle décrit l'élevage des jeunes uniquement du point de vue des calculs économiques. Aucune différenciation de pratiques n'a été faite entre les types. Les animaux font tous le même poids à la vente indépendamment du type génétique de la mère et des pratiques d'engraissement. Leur alimentation est indépendante des surfaces fourragères : la ration est à base de fourrages secs et de concentrés. L'achat des aliments est systématique quand la production ne permet pas la couverture des rations fixées. Il serait intéressant d'approfondir les stratégies mises en place pour l'élevage des jeunes, surtout dans des systèmes où les deux productions tiennent une place importante et peuvent se retrouver en concurrence du point de vue de la disponibilité des fourrages.

Se pose enfin la question de l'ergonomie de l'outil actuel, développé sous tableur. Si cette solution technique a permis de produire rapidement des résultats technico-économiques pour chaque type de stratégie, elle s'avère difficilement adaptable en l'état à d'autres cas d'étude. De plus, le tableur ne permet pas de représenter facilement toutes les règles de décision au niveau de la conduite du troupeau. Étendre son utilisation nécessiterait de passer sous d'autres outils informatiques tout en généralisant et en multipliant les concepts mobilisés par cette modélisation.

Une telle évolution, tant sur le fond que sur la forme, doit se réfléchir au regard des usages possibles de cet outil, couplé à la typologie proposée. Le conseil aux exploitations d'élevage en représente un premier type avec plusieurs applications possibles : (i) mise en évidence des facteurs limitants par rapport à la productivité des vaches laitières et évaluation des effets de systèmes fourragers alternatifs ; (ii) évaluation des effets des stratégies de vêlage sur les calendriers de production ; (iii) évaluation de la valorisation de l'eau selon les systèmes d'alimentation et d'élevage ; (iv) évaluation de la rentabilité des systèmes de production actuels et alternatifs.

Mais cet outil peut également être utilisé pour évaluer les conséquences de scénarios d'organisation sur l'ensemble du bassin d'approvisionnement. Une fois le poids des types identifié il sera en effet possible d'évaluer les volumes totaux livrés en fonction des modes de fonctionnements et des performances par type (à relier avec l'objectif d'augmentation de la production laitière) ou de reconstituer des calendriers de livraison annuels au regard de l'objectif de diminution de la saisonnalité des livraisons.

Parallèlement l'outil peut être mobilisé pour évaluer les conséquences de ces scénarios sur la demande en eau à l'échelle du périmètre et leur sensibilité à l'offre. Il est alors nécessaire de le coupler avec des modèles traitant de la relation entre offre et demande en eau, dont un exemple sera testé en 2006-2007 sur le Tadla (de Nys, 2004 ; Ana, 2005).

Conclusions

Estimer l'économie d'eau et la valorisation de l'eau sur les périmètres irrigués est un enjeu important dans le contexte actuel de raréfaction de la ressource. Mais c'est un exercice difficile vu (i) la diversité des situations de production des agriculteurs ; (ii) la nécessité de prendre en compte l'environnement des exploitations (au minimum les gestionnaires de périmètre pour l'offre en eau et les opérateurs aval des filières pour la valorisation des productions) ; (iii) les dynamiques d'évolution rapide de ces contextes, que ce soit en terme d'assolement, de conduites culturelles, d'organisation de l'offre en eau ou des *supply chains* agro-alimentaires.

La démarche proposée ici et actuellement testée dans le Tadla combine deux types de modélisation : la typologie pour représenter la diversité des exploitations et un outil de simulation des relations entre offre alimentaire de l'exploitation et demande des animaux. Cet outil permet de traiter d'un grand nombre de questions relevant tant des objectifs de la filière (augmentation de la production laitière et diminution de la saisonnalité) que du périmètre (économie et valorisation de l'eau).

Dans son format actuel cet outil présente deux limites majeures. Sur le fond il reste perfectible. Les actions de recherche prévues pour mieux connaître les relations entre gestion de l'eau et productivité des fourrages, d'une part, les processus de gestion des systèmes fourragers, d'élevage et de l'eau, d'autre part, doivent venir l'enrichir tant en termes de paramétrage que de représentation des processus de gestion. En ce sens ce modèle fournit un fil conducteur aux recherches en cours et futures sur ces systèmes de production.

Sur la forme, l'application sous tableur n'est pas aisément manipulable et transférable. Il serait nécessaire de passer à un format informatique plus convivial (association par exemple d'une base de données et d'un outil de calcul), mais cet investissement doit s'évaluer à l'aune à la fois des outils équivalents existants et de la clientèle potentielle. Celle-ci ne peut se limiter aux seuls éleveurs du Tadla. C'est donc sur une montée en généralité, tant contextuelle que thématique, que devra porter la réflexion en rapport avec une telle évolution.

Références bibliographiques

ANA E.V., 2005. WaDI software : interaction of water and demand supply in irrigation schemes. Master of Science Thesis, Leuven, Belgium, Katholieke Universiteit Leuven, 144 p.

BARKER R., DAWE D., INOCENCIO A., 2003. Economics of water productivity in managing water for agriculture. In: J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (eds). Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CAB International, Wallingford, UK: 19-35.

COLENO F.C., DURU M., SOLER L. G., 2002. A simulation model of a dairy forage system to evaluate feeding management strategies with spring rotational grazing. Grass and Forage Science, 57 : 312-321.

CROS M.J., DURU M., GARCIA F., MARTIN-CLOUAIRE R., 2004. Simulating management strategies : the rotational grazing example. Agricultural Systems, 80: 23-42.

De NYS E., 2004. Interaction between water supply and demand in two collective irrigation schemes in North-East Brazil. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 207 p.

GIRARD N., HUBERT B., 1999. Modelling expert knowledge with knowledge-based systems to design decision aids. The example of a knowledge-based model n grazing management. Agricultural Systems 59 : 123-144.

GIRARD N., BELLON S., HUBERT B., LARDON S., MOULIN C.H., OSTY P.L., 2001. Categorizing combinations of farmers' land use practices: an approach based on examples of sheep farms in the south of France. Agronomie, 21 (5) : 435-459.

JARRIGE R. (éd.), 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Paris, INRA Editions, 476 p.

KERR D.V., COWAN R.T., CHASELING J., 1999. DAIRYPTO – a knowledge-based decision support system for strategic planning on sub-tropical dairy farms. I. System description. Agricultural Systems, 59 : 245-255.

KIJNE J.W., BARKER R., MOLDEN D. 2003. Improving water productivity in agriculture: Editors' Overview. In: J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (eds). Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CAB International, Wallingford, UK: xi-ixx.

KUPER M., HAMMANI A., ZEMZAM S., BOUARFA S., THOMAS V., 2004. Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraine pour l'irrigation : le cas du périmètre irrigué du Tadla au Maroc. In : Le Goulven P., Bouarfa S., Kuper M. (eds). Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant, Montpellier : Cirad-Cemagref-Ird , 14 p.

KUPER M., LE GAL P.Y., SRAÏRI M.T., MOULIN C.H., PUILLET L., 2005. Increasing irrigation water productivity through supply-chain management of agro food products: the case of dairy farming in the Tadla irrigation scheme (Morocco). Communication au séminaire Wademed « Instruments économiques et modernisation des périmètres irrigués dans les pays de la Méditerranée », Kairouan, Tunisie, 21-25 novembre 2005, 14 p.

- KUPER M., LE GAL P.-Y., MOULIN C.-H., PUILLET L., SRAÏRI M.T., ELBAHRI M., 2006. Typologie et modélisation des exploitations laitières sur le périmètre irrigué du Tadla (Maroc). Sirma-Cirad-Agro M-IAV Hassan II, Cirad/Tera n°18/06, Montpellier, France, 48 p.
- LANDAIS E., DEFFONTAINES J.P., 1988. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Etudes Rurales*, 109 : 125-158.
- Le GAL P.-Y., 2004. Première analyse de la filière lait dans le périmètre irrigué du Tadla (Maroc). Montpellier, France, Cirad/Tera n°39/04, 20 p.
- MOLDEN D., MURRAY-RUST H., SAKTHIVADIVEL R., MAKIN I. 2003. A water-productivity framework for understanding and action. *In*: J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (eds). *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International, Wallingford, UK: 1-18
- PERROT C., 1990. Typologie d'exploitations construite par agrégation autour de pôles définis à dire d'experts. Propositions méthodologiques et premiers résultats obtenus en Haute-Marne. *INRA Prod. Anim.*, 3 : 51-66.
- PLUVINAGE J., MOULIN C.H., 2004. Analyse de la diversité et de la dynamique des systèmes de production : propositions méthodologiques à partir d'études menées en régions d'élevage. Colloque « Les systèmes de production : performances, évolutions, perspectives ». Lille, 18-19 novembre 2004, Société Française d'Economie Rurale [texte en ligne : <http://www.sfer.asso.fr/sfer/>], 18 p.
- PREFOL P. 1986. *Prodige de l'irrigation au Maroc. Le développement exemplaire du Tadla, 1936-1985*. Nouvelles Editions latines, Paris, France, 266 p.
- SRAÏRI M.T., KUPER M., Le GAL P.-Y., MOULIN C.H. 2005. Journée de réflexion sur la problématique de la filière lait sur le périmètre du Tadla le 26 mai 2005 à Fquih Ben Saleh (Maroc), 7 p.
- ZAZ H., 1996. Bilan de la gestion des ressources en eau dans le périmètre irrigué du Tadla. Rapport ORMVAT, Fquih Ben Salah, Maroc, 70 p.
- ZEMZAM S. 2003. Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et des eaux souterraines pour l'irrigation dans le périmètre irrigué du Tadla. Mémoire de fin d'étude, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 207 p.